



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ÁREA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO N.º 19010408

**DISEÑO 3D, FABRICACIÓN ADITIVA Y CARACTERIZACIÓN DE
PIEZAS MULTI-MATERIAL PARA ROBÓTICA BLANDA**

D. MIER URÍA, Gonzalo
TUTOR: D. BLANCO FERNÁNDEZ, David
COTUTOR: D. FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Pelayo

FECHA: Julio 2019

Índice

1. Introducción y objetivos	3
1.1 Introducción	3
1.1 Objetivos	4
2. Estado del arte.	5
2.1.- Introducción a las tecnologías de fabricación digital aditiva	5
2.2.- Introducción a la robótica blanda	7
2.3.- Estructuras bi-material para robótica blanda	9
2.4.- Justificación del proyecto.....	13
3. Planteamiento Experimental	14
3.1 Alternativas conceptuales para una articulación bi-material simple.....	14
3.1.1 Tipos de articulación	14
3.1.2 Valoración de alternativas.....	15
3.1.3 Procedimiento de diseño y fabricación.....	16
3.2 Diseño experimental	17
3.2.1 Diseño de especímenes de ensayo	17
3.2.2 Factores de análisis	18
3.2.3 Evaluación de indicadores de calidad	27
3.3 Planificación experimental	28
3.3.1 Codificación	28
3.3.2 Impresión 3D	30
3.3.3 Recubrimiento de silicona.....	31
3.3.4 Ensayo a flexión.....	33
3.3.5 Ensayo a tracción.....	33
4. Resultados	35
4.1 Fabricación y ensayo.	35
4.2 Resultados experimentales	38
4.3 Análisis de resultados.....	45
5. Conclusiones y trabajos futuros	53
5.1 Conclusiones.....	53
5.2 Trabajos futuros	54
6. Bibliografía	55

1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Los robots rígidos convencionales carecen de la capacidad de reaccionar de manera apropiada y precisa a los cambios y variaciones de su entorno y/o cambios de algunas de las propiedades de los objetos con los que trabajan como la forma o el tamaño. Asimismo, precisan de un entorno limitado de trabajo en el que no es posible interactuar con seguridad para con el personal humano ni para otros individuos que puedan interferir con su trabajo y funciones. Es por esto por lo que se nos exige la búsqueda de nuevos sistemas capaces de adaptarse versátilmente y de manera fiable a las modificaciones y cambios de características de las zonas de trabajo de las máquinas.

Mirando atrás hacia los primeros sistemas que precisaron una gran adaptabilidad al entorno nos encontramos con los seres vivos, poniendo mayor atención a los seres marinos, cuyas estructuras están compuestas principalmente por órganos blandos. Estos seres, al ser los primeros en estar expuestos a cualquier situación inesperada del medio, anteponen en sus capacidades de adaptabilidad a la naturaleza, la cual asume el control de las situaciones. Por ello, en la primera aproximación de este trabajo, se tomará como referencia a estos individuos para la conceptualización de un componente versátil, sencillo y viable a la hora de programar su fabricación.

Este trabajo consistirá en el desarrollo y fabricación de un diseño 3D orientado a la robótica blanda. Por ello se recurrirá a las técnicas de fabricación digital aditiva, específicamente y como se detallará más adelante, la de deposición de hilo fundido. Estas técnicas de fabricación son una tecnología emergente de las últimas décadas, las cuales se han visto, a su vez, fomentadas por el desarrollo de sistemas de modelización digital CAD.

Aprovechando la gran variedad de posibilidades que nos brindan las actuales técnicas de fabricación, se expondrá, en el presente proyecto, el diseño, proceso de fabricación y caracterización de un componente multimaterial articulado cuya funcionalidad estará destinada a sistemas robóticos blandos. El estudio de este componente se desarrollará a partir del contraste y comparación de diferentes diseños de articulaciones para este componente, que

nos dará una aproximación a nuevas ideas y métodos de fabricación digital aditiva con diferentes materiales orientadas directamente al desarrollo de componentes útiles para la robótica blanda.

1.1 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es analizar el comportamiento de piezas bi-material destinadas a su uso en aplicaciones de robótica blanda, y construidas, al menos en parte, mediante procesos de fabricación aditiva.

Para la consecución de este objetivo será necesario desarrollar una serie de tareas específicas:

- Análisis del estado del arte en cuanto a aplicaciones de robótica blanda, su funcionalidad y aspectos constructivos.
- Elección del diseño básico de una probeta para testeo de propiedades de las piezas bi-material, así como del método de fabricación a emplear.
- Propuesta y valoración de alternativas para la materialización de la zona “flexible” o articular de la pieza bi-material.
- Definición de un plan experimental: variables de ensayo, parámetros de evaluación del resultado y procedimiento de ensayo.
- Fabricación de las probetas.
- Ejecución de los ensayos y análisis de los resultados.

5. Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones

El presente Trabajo Fin de Grado ofrece una visión de las posibilidades del uso de estructuras bi-material, parcialmente fabricadas por procesos aditivos, de cara a su uso en aplicaciones de robótica blanda.

Partiendo del análisis del estado del arte, se ha realizado un diseño básico de articulación en la que se combinan las propiedades de un material rígido (PLA) y otro flexible (Elastosil). La parte articular se implementa de dos formas: bien mediante un espacio inconexo entre dos partes rígidas de PLA que es recubierto con Elastosil, o bien mediante un espacio “aligerado” entre dos partes de PLA conectadas también recubierto con Elastosil.

Sobre este diseño básico, y manteniendo invariables las dimensiones de una probeta “modelo”, se han planteado diversas alternativas constructivas, dando lugar a un total de 12 diseños distintos basados en 4 arquitecturas alternativas. En todos los diseños la fabricación se ha dividido entre la parte rígida de PLA (fabricada mediante FFF en una máquina BCN3D) y la parte flexible de Elastosil (fabricada mediante moldeo por gravedad), de manera que el PLA sirve de núcleo al Elastosil. Para completar este proceso se diseñaron y fabricaron los moldes necesarios.

Las probetas fueron ensayadas por lotes a tracción y a flexión, obteniéndose una serie de resultados que facilitarían la toma de decisiones en el futuro diseño de aplicaciones de robótica blanda y, en especial, de elementos de manipulación de cargas de tipo pinza para robots.

De entre estas conclusiones cabe destacar:

Como era de esperar, las probetas de tipo inconexo permiten mayor flexibilidad, lográndose alcanzar niveles de desplazamiento equivalentes con menores cargas. Por tanto, si la flexibilidad de la articulación es un requisito importante, se debería optar por este tipo de articulaciones. Un desplazamiento de 5 mm en el extremo de la probeta se alcanzaría con valores de carga no superiores a 2N en las probetas de tipo 1 o de 5N en las de tipo 2, mientras que podrían llegar a demandas 25 N en las de tipo 3 y casi 100 en las de tipo 4.

Por el contrario, la resistencia a tracción desciende notablemente en el caso de las probetas inconexas, por lo que no serían una buena opción en el caso de tener que manipular grandes cargas.

Si se busca un compromiso entre ambos requisitos, flexibilidad y resistencia a tracción, se debería optar por las arquitecturas intermedias. Así, una articulación de tipo 2 permitiría soportar cargas de 5 kg con un margen de seguridad razonable y, al mismo tiempo, solo sería necesario un esfuerzo de 0.5kg para lograr un desplazamiento de 10 mm en el extremo. De similar manera, una articulación de tipo 3 podría llegar a deformarse 5 hasta mm con la misma carga, ofreciendo al mismo tiempo una capacidad de carga de 20 kg (con un grado de seguridad muy conservador).

En definitiva, los resultados de este trabajo podrían servir para la toma de decisiones a la hora de diseñar componentes articulados para dispositivos de manipulación basados en robótica blanda.

5.2 Trabajos futuros

Partiendo del trabajo realizado, el próximo paso a dar sería explorar las posibilidades de diseño de una pinza para la manipulación de objetos de poco peso (por ejemplo: por debajo de 2.5 kg) que emplee una arquitectura de dedos bi-material basados en las tipologías analizadas en este proyecto. En esta nueva fase se evolucionaría el diseño básico recogido en este trabajo a un diseño semi-industrial, que tuviera en cuenta las necesidades de actuación y/o monitorización del equipo.

Igualmente, el campo del análisis de estructuras y geometrías complejas que permitan funcionalidades específicas para el diseño de articulaciones ofrece múltiples posibilidades de análisis y estudio. En un futuro, el desarrollo de los procesos de fabricación aditiva extenderá las posibilidades de uso de materiales y geometrías más allá de lo que es posible alcanzar hoy en día. Igualmente, existe una notable falta de madurez en todo lo relativo al análisis y simulación del comportamiento de este tipo de componentes. Todas estas observaciones llevan a concluir que el campo del desarrollo de componentes multi-material mediante procesos aditivos seguirá, en los próximos años, ofreciendo oportunidades de desarrollo e investigación que resulta conveniente explorar.

6. Bibliografía

[1] David Torreblanca Díaz. (2016) Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos”. *Iconofacto*, ISSN 1900-2785, ISSN-e 2390-0040, Vol. 12, N°18, 2016, págs. 118-143.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6302021> Última consulta: 2/7/2019.

[2] Sangbae Kim, Cecilia Laschi, y Barry Trimmer. (2013) Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics. *Trends in Biotechnology*, Vol. 31, tema 5, mayo 2013, págs. 287-294.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.002> Última consulta: 2/7/2019.

[3] Jae Hyeon Kim, Zheng Yuan Li, Hyouk Ryeol Choi, Hyungpil Moon y Ja Choon Koo. (2016). Design of flexible joint using in soft robot hand. *13ª Conferencia Internacional de U.R.A.I.*, Xi'an, China.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7734030> Última consulta: 2/7/2019.

[4] Eric Brown, Nicholas Rodenberg, John Amend, Annan Mozeika, Erik Steltz, Mitchell R. Zakin, Hod Lipson, y Heinrich M. Jaeger. (2010). Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. *P.N.A.S.* 2 de noviembre 2010, 107 (44) 18809-18814.
<https://www.pnas.org/content/107/44/18809/> Última consulta: 2/7/2019.

[5] Ying Wei, Yonghua Chen, Yang Yang y Yingtian Li (2016) Soft robotic spine, tunable stiffness based on integrated ball joint and particle jamming. *Mechatronics* Volumen 33, febrero 2016, págs. 84-92.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415815002019> Última consulta: 2/7/2019.

[6] Raymond R. Ma, Lael U. Odhner y Aaron M. Dollar. (2013). A modular, open-source 3D printed underactuated hand. *2013 IEEE Conferencia Internacional de Robótica y Automatización*, Karlsruhe, Alemania.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6630954> Última consulta: 2/7/2019.

[7] Francisco Javier Ramírez Gil, Esteban Sepúlveda Orozco y Wilfredo Montealegre Rubio. (2017). Mecanismos flexibles: desde el diseño conceptual hasta su manufactura. *Revista Politécnica*, ISSN 2256-5353, vol. 13, número 24, págs. 65-78, enero-junio 2017.

<http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1091/940> Última consulta: 2/7/2019.

[8] Werner Nagl. (1974). Flexible lattice-like grid structure etched from a metallic foil. Aplicación US05/618,933.

<https://patentimages.storage.googleapis.com/66/a3/6f/216f62b3c03760/US4038040.pdf>

Última consulta: 2/7/2019.

[9] Yang, L., Harrysson, O., West, H. y Cormier D. (2013) Modeling of uniaxial compression in a 3D periodic re-entrant lattice structure. *J Mater Sci*, 2013, 48: 1413.

<https://doi.org/10.1007/s10853-012-6892-2> Última consulta: 2/7/2019.

[10] Michael M. Porter, Nakul Ravikumar, Francois Barthelat y Roberto Martini (2017). 3D-printing and mechanics of bio-inspired articulated and multi-material structures. *Journal of the Mech Behavior of Biomed Materials*, volumen 73, 2017, págs. 114-126.

<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.12.016> Última consulta: 2/7/2019.